



Aperçu sur la géologie et les ressources minérales du Bassin du Lac Tchad

Imrich KUSNIR
Géologue

In : Atlas d'élevage du bassin du Lac Tchad = Livestock atlas of the Lake Chad basin. De Zborowski Isolde. CIRAD-EMVT-Service Infographie-Cartographie (FRA). Wageningen : CTA, 3-10. ISBN 2-87614-248-1

Situation

Le Bassin sédimentaire du Tchad ou du Lac Tchad, centré sur ce lac, occupe un vaste territoire au centre de l'Afrique. S'étendant sur 1 100 kilomètres en direction est-ouest et sur 1 200 kilomètres en direction méridionale (1 600 km en direction nord-ouest-sud-est), ce bassin occupe la majeure partie du Tchad au sud de Faya Largeau, tout le Niger oriental à l'est de la ligne allant d'Agadès à Zinder, la partie nord-est du Nigeria, le nord du Cameroun et de la République centrafricaine (fig. 1, 2, 3).

Introduction

The sedimentary intracratonic basin centred on Lake Chad extends some 1 100 km in a west-east and 1 200 km in a north-south direction (figure 1).

The basin covers most of Chad to the south of Faya Largeau, all of Niger east of the line Agades-Zinder, northeastern Nigeria, northern Cameroon and the Central African Republic (figure 2, figure 3).

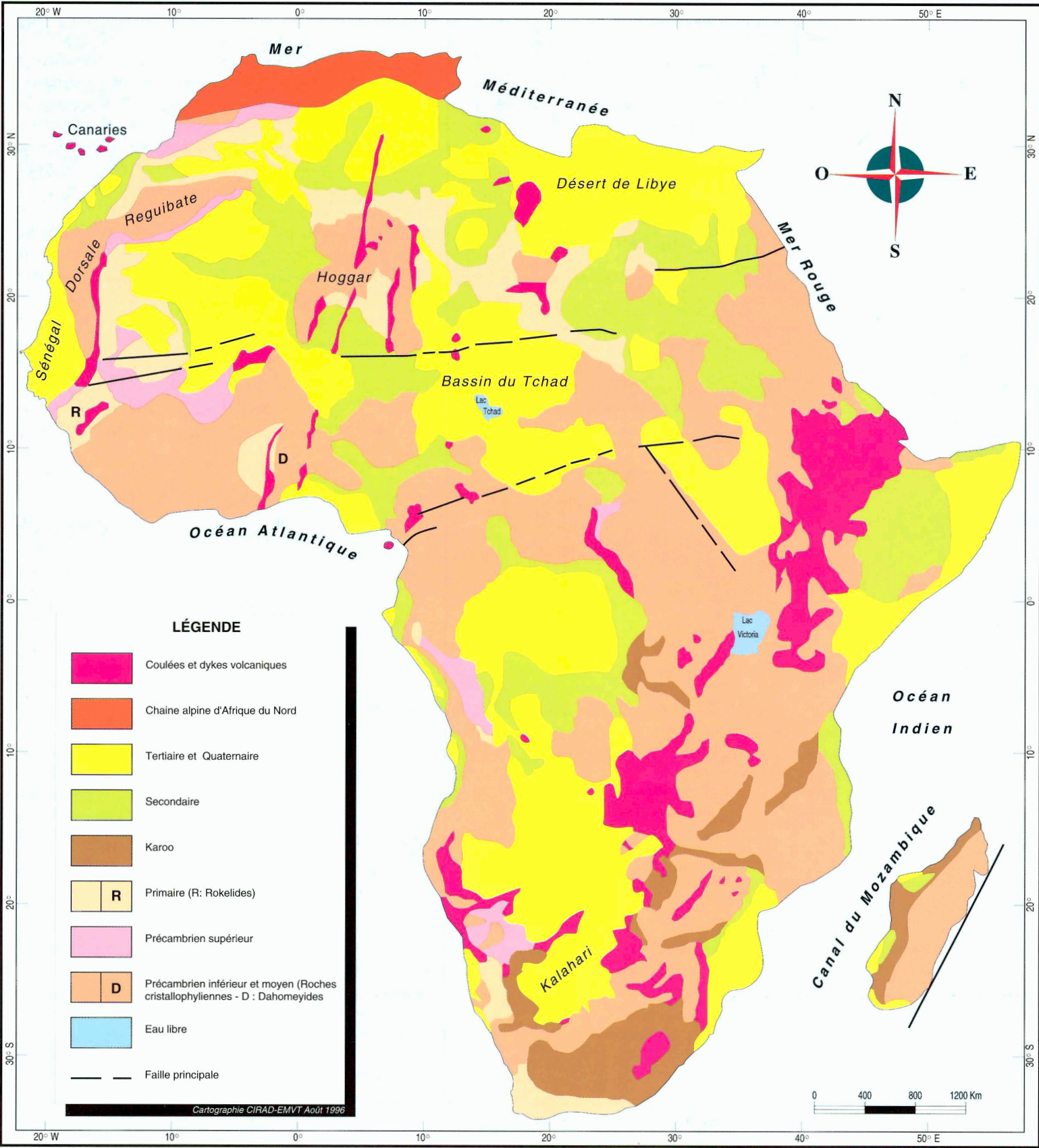
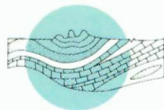


Figure 1 : Carte géologique simplifiée de l'Afrique.
Figure 1 : Simplified geological map of Africa

Il est formé au Crétacé inférieur sur un socle précambrien, dont les roches ont été rencontrées dans plusieurs forages pétroliers et pour l'eau. Les affleurements de ces roches apparaissent localement au milieu de dépôts sédimentaires (Massif central tchadien, Dibella et Achegour au Niger...) et elles forment les limites du bassin, à l'exception de sa limite septentrionale qui est formée par les bassins paléozoïques du Djado (Mourzouk) et de Koufra (fig. 2). A l'est, le bassin est limité par le massif du Ouaddaï-Darfour, au sud par le cristallin de la République centrafricaine.

The basin was formed in the Lower Cretaceous on a Precambrian Basement which outcrops in several outliers, such as the Cental Massif in Chad and Dibella and Achegour in Niger, within the basin. Basement outcrops also occur round the basin's edge, except the north which comprises the Palaeozoic basins of Murzuk (Djado) and Koufra. On the east the basin is bordered by the Darfur/Waddai Massif, on the south by the Central African Republic Basement and the Adamawa Plateau, on the west by the Nigerian Shield, the Precambrian of

1 - For fuller descriptions of the geology of the region see BLACK *et al.*, 1967, 1994 ; TOTEU 1987; GENIK 1992 and KUSNIR, 1993.
2 - This section draws largely on GREIGERT and POGNET, 1967 ; SCHNEIDER and WOLF, 1992 and GENIK, 1992.



caïne (RCA) et du plateau d’Adamaoua (situé en bordure du craton du Congo), à l’ouest par le bouclier nigérian, par les reliefs antécambriens du Damagaram-Mounio (ou Zinder-Gouré) et par le massif de l’Aïr et au nord-ouest par l’extrémité sud-est du massif du Hoggar.

Le Bassin comporte plusieurs “sous-bassins” (Faya Largeau, Bilma...) et fossés (appelés bassins par les pétroliers). Les fossés sont organisés selon deux directions principales suivant des rifts formés à la limite Jurassique-Crétacé :

- nord-ouest/sud-ouest, allant du Ténéré aux environs du Lac Tchad ;
- ouest-sud-ouest/est-nord-est allant des environs sud de Moundou situé au sud-ouest du Tchad à Birao en République centrafricaine (cf. *infra*). Au sud-ouest du Lac Tchad, on trouve le fossé de Bornu qui est situé sur le rift de Gondola-Bénoué.

Le Bassin du Lac Tchad communique avec celui des Iullemmeden qui occupe le centre et l’ouest du Niger, avec ceux du Sud-Soudan (Muglad, Bagarra...) et avec le fossé de Bénoué.

Cadre régional, formation et évolution du Bassin du Lac Tchad

Le Bassin du Lac Tchad est un bassin intra-cratonique, formé sur un socle précambrien dont la consolidation crustale s’achève à la limite Protérozoïque-Paléozoïque, au cours de l’orogénèse panafricaine (cf. *infra*). La sédimentation débute au Crétacé inférieur après l’ouverture de grands fossés lors de la dislocation du Gondwana vers 130 millions d’années (Ma) et elle continue jusqu’au Quaternaire. L’épaisseur moyenne des dépôts du Bassin ne dépasse pas quelques centaines de mètres si ce n’est dans les fossés, où elle peut atteindre presque 13 000 mètres. Les dépôts sont essentiellement continentaux, à part quelques incursions marines au Crétacé supérieur.

Socle précambrien

Le socle est constitué de séries métamorphiques diverses d’origine sédimentaire ou volcanique ayant subi un métamorphisme allant de l’épizone à la catazone. On y trouve des schistes, des séricito-, chlorito- et mica-schistes, des amphibolites, des marbres, des quartzites, des gneiss, des migmatites, etc. D’après les radio-datations disponibles, certaines de ces formations seraient du Protérozoïque inférieur (elles ont livré des âges entre 1 900 et 2 000 Ma), d’autres du Protérozoïque supérieur (par exemple, les méta-volcanites de la région de Poli au Cameroun ont fourni l’âge de 830 Ma, cf. TOTEU, 1987). Les métamorphites sont intrudées par des roches intrusives diverses, où prédominent les granites d’âge Protérozoïque supérieur-début Paléozoïque (700-500 Ma). Ces granites, très répandus, ont été mis en place au cours de l’orogénèse panafricaine survenue entre 750 et 550 Ma. Cette orogénèse représente le dernier événement tectono-thermique important connu dans la région. Des failles et des linéaments formés au panafricain (linéaments d’Agadès et d’Adamaoua, etc. cf. fig. 2) influencent les structures du Bassin du Lac Tchad.

Durant le Paléozoïque jusqu’au Jurassique, des sédiments essentiellement continentaux et en partie marins, de faible profondeur, se déposent sur la partie septentrionale de la plate-forme (dans les bassins de Kufra, de Djado-Mourzouk, dans le Ténéré (FAURE, 1966 in GREIGERT et POUGET, 1967). Les restes de ces dépôts ont été trouvés également dans la région du Ouaddaï (KUSNIR, op. cit.). La surrection des massifs cristallins de cette région (Ouaddaï, Tibesti...), pendant l’orogénèse hercynienne active en Afrique du Nord, provoque l’individualisation des bassins sus-mentionnés. Vers la fin du Paléozoïque, les effets thermiques ont également atteint la région de Termit puisque les schistes rencontrés dans les forages pétroliers donnent l’âge radiométrique K-Ar de 266 Ma (GENIK, op. cit.).

A la limite occidentale du Bassin (dans l’Aïr, le Damagaram-Mounio et à Jos plateau), le socle consolidé est intrudé par les granites alcalins. Ces granites se présentent le plus souvent sous forme de complexes annulaires. Ils ont livré des âges carbonifères dans l’Aïr et dans le Damagaram-Mounio et un âge d’environ 160 Ma (Jurassique) à Jos plateau.

Damagaram-Mounio (or Zinder-Gouré) and the Aïr, and on the north-west by the Hoggar.

The Chad Basin includes several subbasins, including Faya, Largeau and Bilma and rift basins. The latter occur mainly NW-SE from Ténéré to near Lake Chad and WSW-ENE from the west of Moundou in south-west Chad to Birao in the Central African Republic. The Bornu Basin to the southwest of Lake Chad is located on the Gondola-Benue Rift. The Chad Basin is interconnected with the Iullemmeden Basin that covers all central and western Niger and with the Muglad and Baggara Basins of Sudan, as well as with the Benue Rift Basins.

Regional framework, formation and development of the Chad Basin

The crustal evolution of the Precambrian Basement was complete by the end of the Proterozoic/Palaeozoic period during the Panafrican orogeny (figure 1). Sedimentation of the basin started in the Lower Cretaceous, following the formation of several rift systems associated with the breaking up of Gondwanaland about 130 million years before present (BP), and continued into the Quaternary. The average sediment thickness is some hundreds of metres with the exception of the rift basins where there may be up to 13 000 metres of deposits (figure 4, figure 5, figure 6). The sediments are mainly of continental origin but there are some marine incursions from the Upper Cretaceous.

The Precambrian Basement

The Precambrian Basement comprises igneous rocks and a low to high grade metamorphic series of sedimentary or volcanic origin. Metamorphics include sericite- chlorite- and mica-schists, amphibolites, marbles, quartzites, gneisses and migmatites. Radiometric data show some of these formations to be of the Lower Proterozoic of 2 000-1 900 million years BP. Others, such as the meta-volcanics of the Poli area in northern Cameroon, are of the Upper Proterozoic of about 830 million years BP. The metamorphic formations are intruded by igneous rocks, especially by the Upper Proterozoic/Lower Palaeozoic granites of about 700-500 million years BP. These granites are widespread in the basin and result from Plutonism related to the Panafrican orogeny of 750-550 million years BP, the last major tectono-thermal event of the region1 (Figure 2).

Continental and shallow marine deposits were laid down during the Palaeozoic and Jurassic periods on the northern part of the platform in the Kufra and Murzuk Basins, in the Ténéré (FAURE, 1966 in GREIGERT and POUGET, 1967), and in the Waddai/Darfur area where some remnants of Palaeozoic formations occur (KUSNIR, 1993). The uplift of the crystalline Waddai and Tibesti Massifs during the Hercynian orogeny active in northern Africa is the reason for the separation of the basins. Some thermal effects of this orogeny may have reached the Termit area where schists found in borehole samples have K- Ar ages of



Photo 1 : Hadjer El Khamis - Tchad (cliché, I. de Zborowski).
Photo 1 : Hadjer El Khamis - Tchad (Photo, I. de Zborowski).



La majeure partie du Bassin tchadien reste probablement émergée jusqu'au Crétacé.

Crétacé, formation du Bassin du Lac Tchad

Au Jurassique supérieur-Crétacé inférieur, la dislocation du Gondwana, suivie de la séparation de l'Amérique du Sud de l'Afrique vers 130 Ma, provoque, dans la région étudiée, l'ouverture de rifts suivant des discontinuités crustales panafricaines : l'un orienté nord-ouest/sud-est (rift nigérien ou ouest-africain, fig. 2), l'autre ouest-sud-ouest/est-nord-est (rift centrafricain, cf. FAIRHEAD, 1986 et d'autres références in GENIK, *op. cit.*). Plusieurs fossés se sont formés dans ces rifts au Crétacé (130-75 Ma) par un rifting polyphasé. Le rift nigérien contient sept fossés : Grein, Kafra, Ténéré, Tefidet, Termit (dont la partie méridionale est connue au Tchad sous le nom de fossé du Kanem) et Bongor ou Bousso. Le rift centrafricain comporte les fossés de Doba, Doséo et Salamat ou Baké-Birao sur la zone du Bassin tchadien, ensuite le fossé de M'béré, situé sur le cristallin d'Adamaoua dans l'extension vers le sud-ouest du rift, et celui de Bagarra à son extension nord-est. Les fossés ont entre 250 et 500 kilomètres de long, 40 à 150 kilomètres de large, et contiennent entre 5 000 à 7 000 mètres de dépôts, avec un maximum d'environ 13 000 mètres dans le fossé de Termit.

Avec le comblement de ces rifts, au Crétacé inférieur, débute la sédimentation dans le Bassin du Lac Tchad. Suite à une subsidence importante, 2 000 à 3 000 mètres de sédiments se déposent dans les fossés du rift centrafricain pendant cette période, et 1 000 à 1 500 mètres dans ceux du Niger. Les dépôts sont continentaux, terrigènes. Une transgression marine atteint la région au Crétacé supérieur (98-84 Ma, GENIK, *op. cit.*) du Téthys via l'Algérie et de l'Atlantique par le fossé de Bénoué. Plusieurs milliers de mètres de sédiments marins du Crétacé supérieur sont déposés dans les fossés du rift ouest-africain mais, ailleurs, les dépôts de cette période sont à prédominance continentale, malgré une subsidence forte dans certaines régions (environ 2 000 m de dépôts à Doba).

La période fin Crétacé-début Tertiaire est jalonnée d'événements tectoniques importants. Parmi d'autres : la réactivation du linéament d'Agadès, provoquant la séparation du fossé de Termit de ceux du nord du Niger ; l'individualisation des fossés de Doba, Doséo et Salamat à l'intérieur du rift centrafricain, suite aux mouvements le long de la faille de Borogop (GENIK) ; l'amorce du bombement anticlinal de l'Aïr (GREIGERT et PUGNET), etc. Les mouvements tectoniques ont été localement accompagnés d'une activité volcanique (rhyolites au sud du Lac Tchad, basaltes dans certains fossés...).

Tertiaire, Quaternaire

Pendant le Tertiaire et le Quaternaire, la sédimentation dans le Bassin du Lac Tchad est représentée par les dépôts continentaux, fluvio-lacustres argilo-sablonneux, provenant de l'arasement des zones émergées sur les pourtours du Bassin. Leur puissance atteint plusieurs centaines de mètres, avec le maximum dans la région du Lac Tchad soumise à une subsidence forte, notamment au Pliocène (environ 300 m de dépôts). Mais en général, à partir de 30 Ma environ (Oligocène), la région du Bassin subit un soulèvement (GENIK, *op. cit.*).

A la fin du Tertiaire, la région connaît une période d'érosion, la formation des pénéplaines et des cuirasses latéritiques.

Le Quaternaire se distingue par les variations importantes des conditions hydro-climatiques qui se reflètent dans la composition des dépôts. Pendant une phase aride au Pléistocène supérieur (22 000-12 000 ans BP), d'importantes formations éoliennes (dunes atteignant 50 m d'épaisseur) se sont accumulées au Niger oriental-Tchad central. Au cours d'une période humide, vers 6 000 ans BP, où le Lac connaît une importante extension et occupe une superficie d'environ 330 000 kilomètres carrés, les dépôts sont essentiellement fluvio-lacustres. Avec une nouvelle phase aride, qui commence après 4 000 ans BP et continue jusqu'à nos jours, recommence le développement des formations éoliennes dans la partie septentrionale du Bassin. L'extension du Lac diminue.

La période de fin Tertiaire et Quaternaire connaît également une activité volcanique intense au pourtour et à l'intérieur du Bassin : dans le Tibesti, sur la "ligne volcanique" camerounaise (allant de Fernando Poo au Lac Tchad), à Jos plateau, dans la région de Termit, etc.

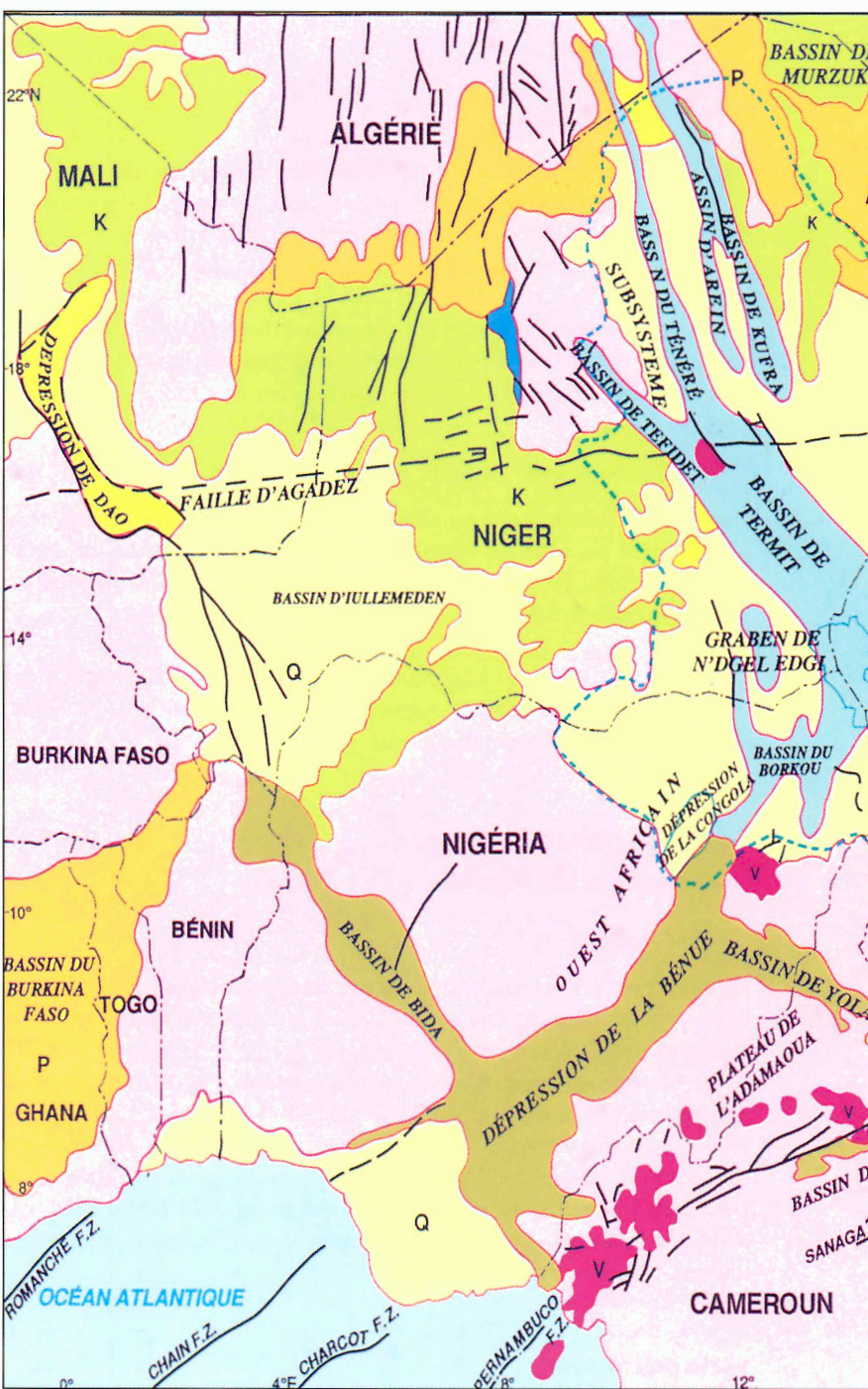


Figure 2 : Carte régionale géologique avec des rifts superposés sur la surface géologique régionale
Figure 2 : Regional geological map with rifts superposed upon the regional surface geology.

266 million years BP (Genik, 1992). On the western borders of the basin in Aïr, Damagaram-Mounio and the Jos Plateau, the Basement is intruded by alkaline granites that form ring complexes. These are dated to the Palaeozoic in the Aïr and Damagaram-Mounio and to the Jurassic of about 160 million years BP for the Jos Plateau.

The Cretaceous and the formation of the Lake Chad Basin

Most of the Chad Basin probably emerged during the Palaeozoic to the Cretaceous. The break up of Gondwanaland followed by the separation of Africa from South America in the Upper Jurassic/Lower Cretaceous caused the formation of rifts in central Africa. Two such systems were formed along the Panafrican discontinuities by 130 million years BP (figure 2), these being the NW-SE West African or Nigerian Rift and the WSW-ENE Central African Rift. Several basins or troughs were formed in these rifts during the Cretaceous of 130-75 million years BP by poly-phase rifting. Seven of these - Grein, Kafra, Ténéré, Tefidet, Termit (whose southern, Chadian, part is called the Kanem Trough), Bongor and Bousso - are on the West African Rift. The Central African Rift comprises the Doba, Doséo and Salamat (or Bake-Birao) Basins of the Chad Basin area, the M'bere Basin on the Adamawa Plateau Basement and the Bagarra Basin on the northeast extension of this rift. These basins are 250-500 km long, 30-150 km wide and generally 5 000-7 000 metres thick with a maximum of 13 000 metres in the Termit Basin.

Infilling of the rifts in the Lower Cretaceous started the sedimentation of the Chad Basin. Some 2 000-3 000 metres of terrigenous continental sediments are accumulated in the Central African Rift and 1 000-1 500 metres in the Nigerian Rift. During part of the Upper Cretaceous, about 98-84 million years BP, the sea reached the area from Tethys via Algeria and from the Atlantic via the Benue Rift. There are several thousand metres of marine sedimentation in the West African Rift but elsewhere

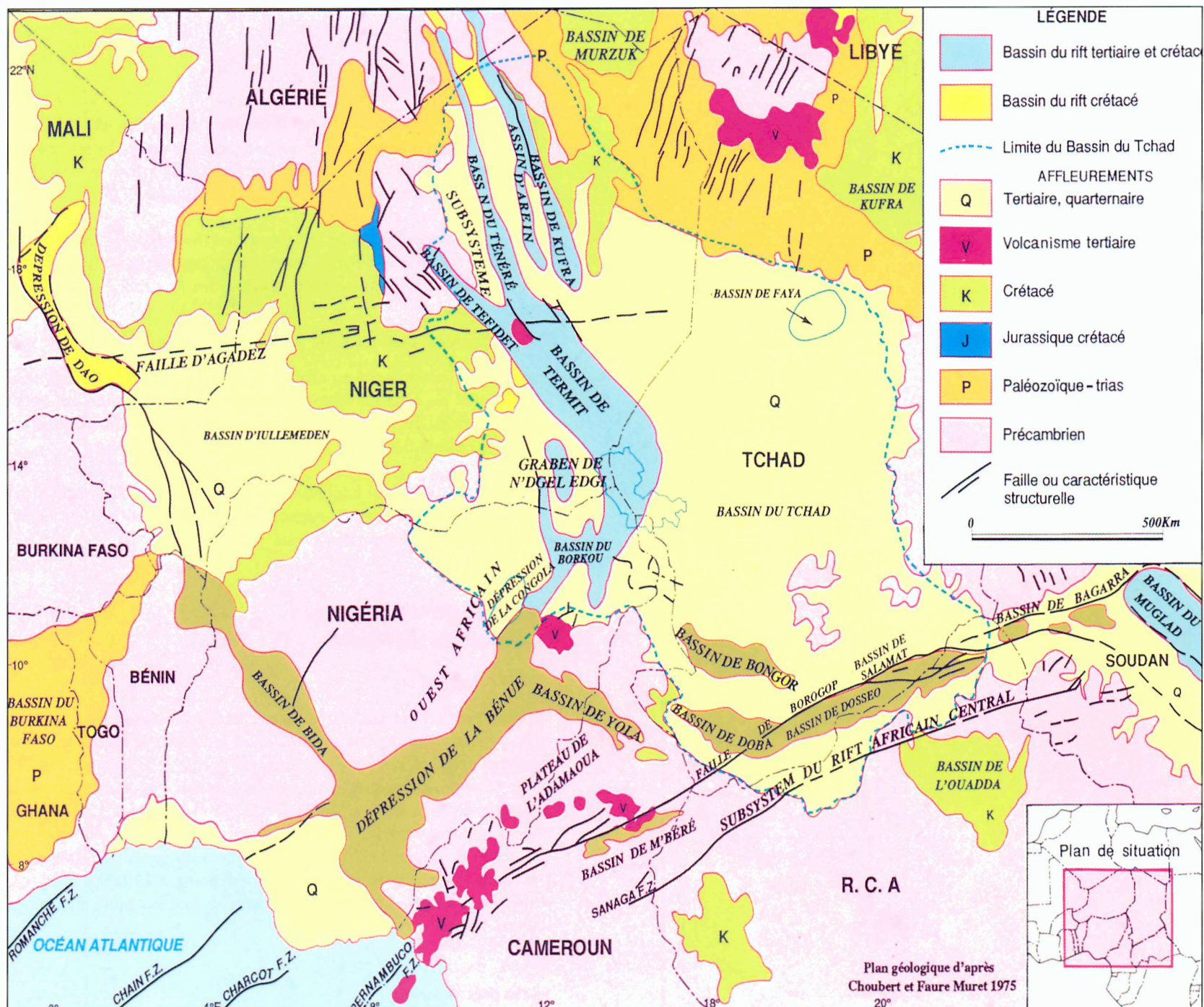
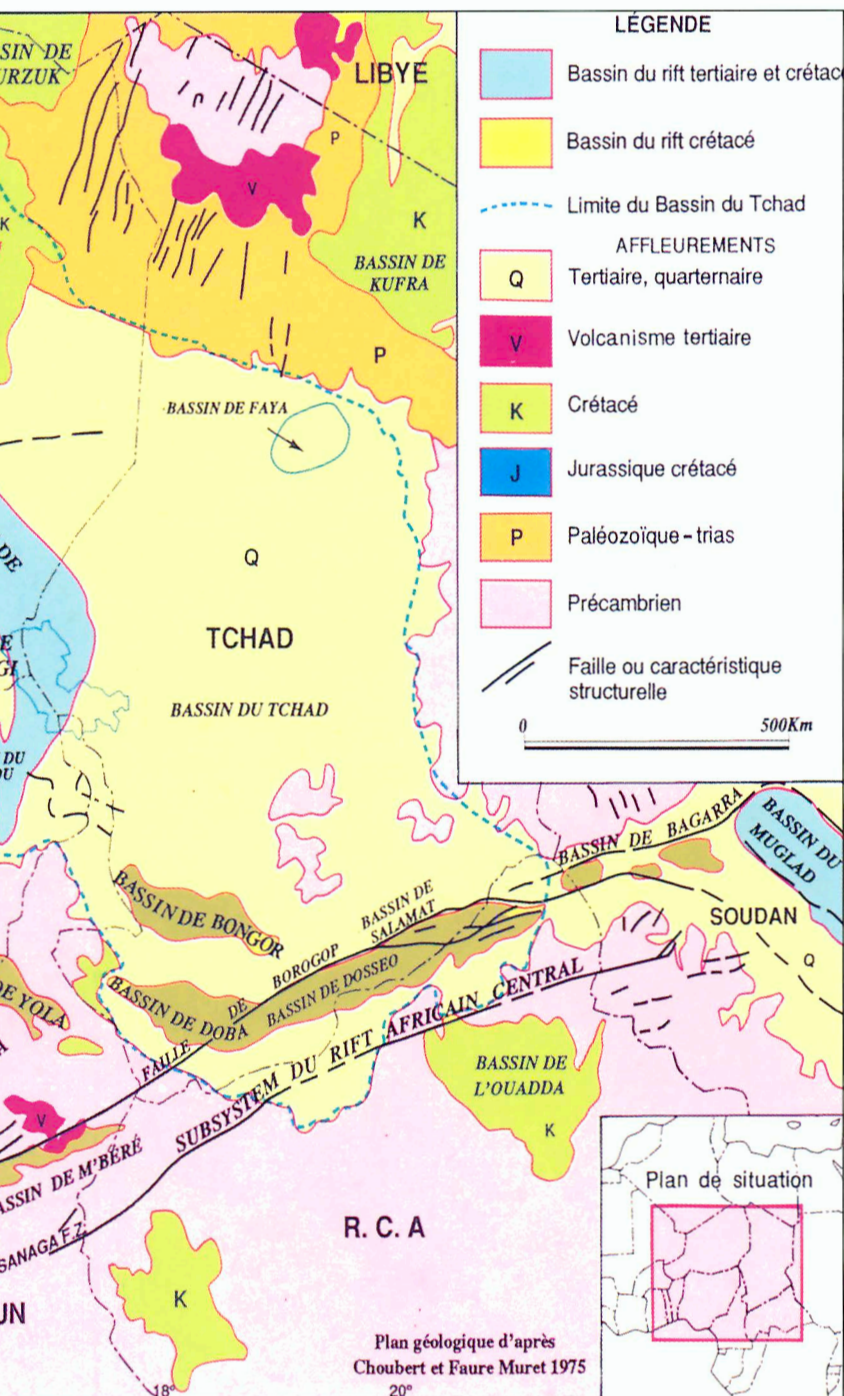
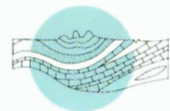


Figure 2 : Carte régionale géologique avec des rifts superposés sur la surface gérégionale
 Figure 2 : Regional geological map with rifts superposed upon the regional surface geology.



Stratigraphie

La stratigraphie (et la géologie en général) du Bassin tchadien a été étudiée par de nombreux chercheurs. L'essentiel des renseignements présentés dans ce chapitre est tiré des ouvrages de GREIGERT et PUGNET, 1967, SCHNEIDER et WOLF, 1992 et GENIK, 1992.

Paléozoïque-Jurassique

Les formations antécritacées sont très rares et sont connues seulement dans la partie septentrionale du Bassin.

Les quartzites à *Nuculites* sp., affleurant dans les reliefs du Grein dans le Ténéré, au nord-est du Niger, sont attribués au Dévonien inférieur (FAURE, 1962 in GREIGERT et PUGNET, *op. cit.*). Les forages pétroliers dans cette région (fossés de Grein, Kafra et Ténéré), ont rencontré quelques dizaines, voire quelques centaines de mètres de dépôts continentaux paléozoïques à jurassiques (GENIK, *op. cit.*).

Enfin, on rattache au Paléozoïque des grès quartzitiques affleurant entre Oum-Hadjer et Abéché au Tchad oriental ainsi que les grès légèrement argileux de 90 mètres d'épaisseur, rencontrés dans un forage pour l'eau, sous 200 m de sédiments tertiaires et quaternaires près d'Ati, au Tchad central (SCHNEIDER, 1989).

Crétacé

A l'affleurement, les formations crétacées apparaissent au pourtour du Bassin (Figure 3) : à l'extrémité nord-est de la RCA, au sud-ouest du Tchad, près de la frontière camerounaise, au contact du Bassin du Tchad avec le fossé de la Bénoué et avec le bassin des Iullemmeden au sud de l'Aïr. (Cette région comporte les affleurements les plus impor-

the Upper Cretaceous deposits are mainly of continental origin in spite of a rapid subsistence in some areas and amounting to 2 000 metres of sediments in the Doba Basin.

The end of the Cretaceous and the beginning of the Tertiary were marked by major tectonic events including reactivation of the Agades alignment causing the separation of the Termit Trough from the other basins of northern Niger, separation of the Doba, Doséo and Salamat Basins consequent on movements along the Bogorop Fault, and the beginning of the anticline upwarping of the Aïr area. The tectonic movements occurred in some areas at the same time as Aïr area. The tectonic movements occurred in some areas at the same time as volcanic activity, this being responsible for the presence of rhyolites south of Lake Chad and of basalts in some of the other basins.

The Tertiary and Quaternary

Sedimentation in the basin during these two periods is represented by continental fluvio-lacustrine clayey and sandy deposits resulting from the erosion of the exposed areas bordering the basin. They are generally some hundred metres thick with a maximum of about 300 m. Since the Oligocene of about 30 million years BP the basin has been constantly uplifted and exposed. The end of the Tertiary was a period of erosion and the formation of vast peneplains with hard lateritic crusts.

The Quaternary is typified by major variations in hydro-climatic conditions that influenced the composition of the geological formations. As an example, during an arid phase of the Upper Pleistocene about 22 000-12 000 years BP, a thick blanket of aeolian sands with dunes up to 50 metres high was formed in eastern Niger and central Chad. The fluvio-lacustrine formations deposited during a humid period about 6 000 years BP, when the Lake covered 330 000 km², are another example. Finally, with the inception of a new arid period about 4 000 years BP, and continuing down to the present, new wind-borne deposits were formed in the northern part of the basin and the Lake began to shrink.

There was intense volcanic activity towards the end of the Tertiary and the beginning of the Quaternary. This occurred at the periphery and within the basin in Tibesti, along the Cameroon "Volcanic Line" from Fernando Po (now Bioko) to the Lake, on the Jos Plateau and in the Termit.

Stratigraphy

The Palaeozoic-Jurassic

Pre-Cretaceous sediments are scarce and are found only in the northern part of the basin. Quartzites containing fossil *Nuculites* sp. and outcropping in the Grein area in Ténéré are assumed to be of Lower Devonian. Oil exploration boreholes drilled in Grein, Kafra and Ténéré have penetrate several tens to hundreds of metres of Continental Palaeozoic to Jurassic sediments.

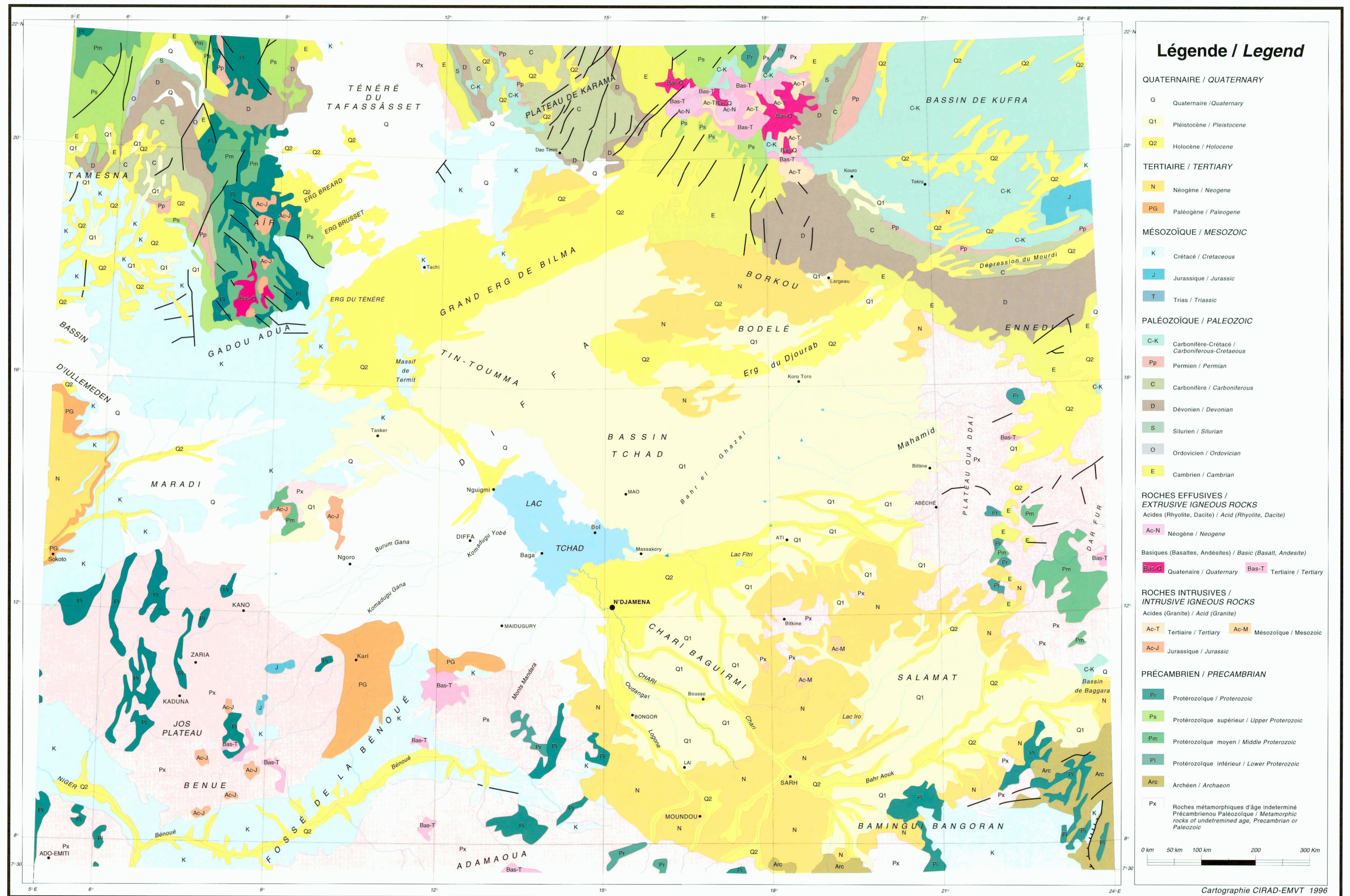
The Cretaceous

Cretaceous sediments outcrop at the fringe of the basin (figure 3) in northeast Central African Republic, southwestern Chad near the border with Cameroon, near the contact of the Chad Basin with the Benue Rift and at its contact with the Iullemmeden basin south of Aïr. They also occur in the Bilma subbasin and in Termit, Dibella and Agadem in eastern Niger. Cretaceous formations form the main part of the rift basin infill but are overlain by younger sediments.

Several Lower Cretaceous formations belonging to the Tegama group of the so-called Continental Intercalaire (Westphalian-Lower Cenomanian) occur to the south of the Aïr Massif and in the Terfidet Trough. These are mostly sandy fluvial or lacustrine formations, rich in silicified woods in the case of the Tiguedi and Echkar formations, or in fish, crocodile and dinosaur remains in the case of the El Rhas formation. Crossbedded Tiguedi sandstones can reach a thickness of 220 metres whereas the Echkar sandstones are 250-300 metres thick : the El Rhas formation, containing sandstones interbedded with multicoloured claystones, is only a few metres thick.

The Tegama sandstones also outcrop to the east of Aïr near Dibella,

Figure 3
Carte géologique du Bassin du Lac Tchad - Geological map of the Lake Chad Basin



tants du Crétacé). On en trouve également dans le sous-bassin de Bilma (à l'est du fossé de Kafra) et en quelques endroits au Niger oriental (Termit, Dibella, Agadem). A l'intérieur du Bassin, les formations crétaées constituent l'essentiel du remplissage des fossés, mais elles sont recouvertes par des dépôts plus jeunes.

Au sud de l'Aïr et dans le fossé de Tefidet apparaissent plusieurs ensembles du Crétacé inférieur appartenant, pour l'essentiel, au groupe de Tégama du Continental intercalaire (Westphalien-Cénomanién inférieur, (GREIGERT et POUGET). Il s'agit des formations de Tiguedi, d'El Rhas et d'Echkar qui sont fluviatiles ou lacustres, essentiellement gréseuses, riches en bois silicifiés (Tiguedi, Echkar), ou en restes de poissons, de crocodiles et de dinosauriens (El Rhas). Les grès à stratification entrecroisée de Tiguedi peuvent atteindre 220 mètres d'épaisseur et les grès d'Echkar 250 à 300 mètres. La puissance de la formation d'El Rhas, composée de grès à intercalations d'argiles bariolées, n'atteint que quelques mètres.

Les grès de Tegama affleurent également à l'est de l'Aïr, notamment près de Dibella, d'Achegour et de Fachi, associés à de petites boutonnières du cristallin, ensuite dans l'Adrar de Madet et près de Tiffa, dans le bassin de Bilma. Il s'agit d'un ensemble de 150 à 200 mètres de grès quartzites conglomératiques contenant une flore d'angiospermes et de gymnospermes, décrit sous le nom de formation de Dibella et d'Achegour.

Les fossés du rift ouest-africain contiennent entre 1 000 et 3 000 mètres de sédiments clastiques terrigènes du Crétacé inférieur. L'épaisseur de dépôts continentaux (sables plus au moins consolidés alternant avec des shales et des siltstones) dans le fossé de Bongor dépasserait 4 000 mètres. La puissance du Crétacé inférieur des fossés centrafricains varie entre 3 000 et plus de 4 000 mètres, avec le maximum à Doséo. La série est constituée essentiellement de sables aptiens et albiens, d'origine continentale, présentant des intercalations argileuses. Une partie d'argilites (shales) du fossé de Doba est d'origine lacustrine.

Les formations du Crétacé supérieur affleurent largement dans la partie méridionale de la région limitrophe entre le Bassin du Lac Tchad et celui des Iullemmeden.

La série ou formation de Farak, épaisse d'environ 200 mètres, comprend des grès fins bariolés, des argiles et des grès grossiers à ciment argileux, datés du Cénomanién inférieur. Elle est surmontée par le Cénomanién à Néolobites, très localisé (près de Tanout), et par le Turonien, plus étendu et constitué par des argiles à gypse avec lumachelle calcaire à *Nigericeras*, l'ensemble ayant de 15 à 20 mètres d'épaisseur.

Plus au sud, dans la région de Koutous et au nord de Zinder, on trouve des grès grossiers, feldspathiques à ciment argileux avec des argiles, transgressifs sur le précambrien. Ils sont horizontaux. On les attribue au Continental hamadién d'âge sénonien.

Dans le sous-bassin de Bilma, le Cénomanién et le Turonien sont représentés par les formations marines. Ces dernières sont constituées essentiellement d'argiles et de calcaires à gastéropodes et à huîtres (formation d'Alanlara) ou à *Nigericeras* (formation de Zoo Baba). Vers l'ouest (vers Kafra) et vers le nord (Séguedine et Cheffadène), on observe un passage aux conditions continentales. La formation cénomaniénne de Cheffadène comporte des grès et des argiles à empreintes de feuilles ; celle de Kafra, qui a fourni une faune cénomaniénne et sénonienne, comprend une soixantaine de mètres de grès fins et d'argiles gréseuses ferruginisés. Le Crétacé dans ce bassin se termine par la formation continentale de Bilma du Sénonien supérieur, largement affleurante. Elle est constituée de grès bruns kaoliniques à débris d'araucarioxylon et son épaisseur est de 250 à 300 mètres.

Des formations sénoniennes affleurent également dans les régions de Termit et d'Agadem. La formation de Termit, qui a fourni des restes d'Angiospermes, est constituée par des grès fins, des silts et des argiles gréseuses en alternance. Ceux-ci se déposeraient sur 2 500 à 4 000 mètres d'argilites, de silts, de sables et de carbonates subordonnés marins de faible profondeur qui ont été rencontrés dans les forages pétroliers exécutés dans le fossé de Termit. Dans d'autres fossés du rift nigérien, la puissance des formations du Crétacé supérieur n'atteint pas 2 000 mètres.

Dans la partie sud du bassin tchadien, dans la région frontalière, au Nord-Cameroun/sud-ouest du Tchad, affleurent des dépôts lagunaires et continentaux. On y observe des grès, des arkoses à bois silicifiés, des marnes, des argiles et des bancs de calcaires à lumachelles. Ces sédiments, transgressifs sur le socle antécambrien, sont localement recoupés

WEST AFRICAN RIFT SUBSYSTEM - NIGER, CHAD

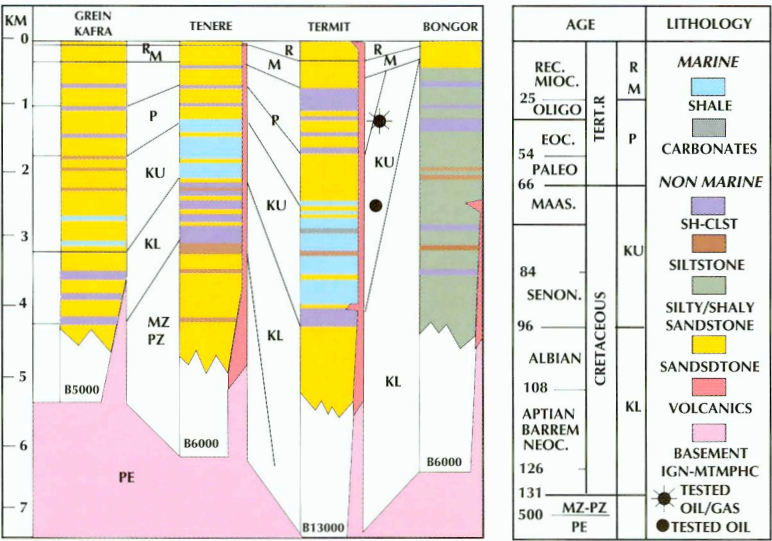


Figure 4a : Séries stratigraphiques généralisées des sous-systèmes Ouest-Africain . Bassins de Grein, Kafra, Ténéré, Termit et Bongor. Notez l'absence de strate marine à Bongor.
Figure 4a : Generalized stratigraphic columns WAS ; Grein, Kafra, Tenere, Termit and Bongor basins. Note absence of marine strata in Bongor.

Achegour and Fachi on the small Basement inliers, and also in Adrar Madet and the vicinity of Tiffa in the Bilma Basin. These quartzitic pebbly sandstones, 150-200 metres thick and known as the Dibella and Achegour formations, contain Angiosperm and Gymnosperm remains.

The basins of the West African Rift contain 1 000-3 000 metres of terrigenous Lower Cretaceous clastics. The slightly consolidated sands, siltstones and shales of the continental deposits in the Bongor Basin exceed 4 000 metres in thickness. The 3 000-4 000 metres thick Lower Cretaceous sediments of the Central African Rift consist of Aptian and Albian Continental sands with clay intercalations. Some of the shales in the Doba Basin are of lacustrine origin.

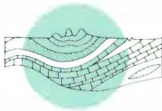
Upper Cretaceous formations are widespread in the southern part of the border area between the Chad and Iullemmeden Basins. The Fark series of the Lower Cenomanian, some 200 metres thick, comprises fine-grained multicoloured sandstones, shales and coarse-grained sandstones with an argillaceous cement. It is overlain by a Cenomanian containing Neobolites occurring only near Tanout and Turonian that is spread out and composed of gypsum clays and bioclastic limestones (lumachelle) some 15-20 metres thick. Farther to the south in the Koutous area and north of Zinder, coarse feldspathic clayey shales fall on the Precambrian Basement. These are horizontal formations attributed to the Senonian of the Continental Hamadian.

In the Bilma Basin the Cenomanian and Turonian are represented by marine formations that are essentially shales and limestones with fossil gastropods and oysters in the Alanlara formation or with *Nigericeras* in the Zoo Baba formation. In the Kafra area to the west and near Seguedine and Cheffadene to the north, continental conditions prevail. The Cenomanian Cheffadene formation comprises sandstones and claystones with traces of leaves whereas the Kafra formation is of fine ferruginized sandstones and sandy argilites some 60 metres thick and containing Cenomanian and Senonian fauna. The widely outcropping Continental Bilma formation of the Upper Senonian is the final Cretaceous unit of the basin and contains brown kaolinitic sandstones 250-300 metres thick with remains of Araucarioxylon.

Senonian sediments outcrop in the Termit and Agadem areas. The Termit formation is composed of fine-grained sandstones, siltstones and sandy clays with Angiosperm plant remains. It overlies some 2 500-4 000 metres of shallow marine shales, sands, silts and minor carbonates, as revealed by oil exploration wells. In other basins of the West African Rift, however, the Cretaceous sediments do not exceed 2 000 metres in thickness.

In the southern part of the basin near the Cameroon-Chad border there are outcrops of Upper Cretaceous continental and Lakedeposits composed of arkoses with silicified wood, marls, clays and bioclastic lumachelle limestones. The Pala series sediments, which overlie the Precambrian Basement and are dated from the Late Aptian-Turonian, are locally intruded by basalts sills and dykes.

In the Central African Rift the maximum thickness of over 2 000 metres of Upper Cretaceous deposits is found in the Doba basin. The Cenomanian is composed of brown red clays with sandy intercalations



par des dykes de basaltes. La série, connue au Tchad sous le nom de série de Pala, est datée d’Aptien supérieur-Turonien.

Parmi les fossés du rift centrafricain, c’est celui de Doba où la série du Crétacé supérieur est la plus puissante ; son épaisseur dépasse 2 000 mètres. Le Cénomaniens est représenté par des argiles brun-rouge à intercalations sableuses, le Sénonien (environ 700 m) par le sable blanc et par l’argile grise alternés.

Les forages pour l’eau ont rencontré des formations crétacées également en d’autres parties du Bassin. Elles sont masquées, comme dans les fossés, par des dépôts plus récents, souvent assez puissants (plus de 500 m près de Maiguduri).

Tertiaire

Des formations paléocènes ont été signalées dans les forages pétroliers de certains fossés (Grein, Kafra, Ténéré). Des grès, recouverts par des shales d’origine lacustre, datés de l’Eocène, ont été rencontrés dans le fossé de Termit.

Les formations tertiaires les plus répandues sont celles du Continental terminal. Elles affleurent sur les bordures du bassin tchadien, au nord du Tchad (au sud du plateau des Erdis), dans le Tchad méridional, d’où elles se poursuivent au nord de la RCA et du Cameroun, au Nigeria au sud-ouest de Maiduguri ainsi qu’au Niger au sud-ouest de Zinder et dans les régions de Termit et d’Homodji. Entre ces affleurements, ces formations ont été trouvées dans pratiquement tous les sondages réalisés dans le Bassin, parfois à une profondeur de plus de 200 mètres, recouvertes par des dépôts plus récents. Leur puissance peut atteindre 800 mètres dans les fossés (à Doba), par suite des mouvements de subsidence. Elles comportent essentiellement des sables, parfois des grès et des argiles. Elles sont coiffées par des cuirasses latéritiques fossiles.

Sur la majeure partie du Bassin, le Continental terminal se dépose sur le socle précambrien. Les dépôts proviennent d’une altération, sous climat tropical humide, de roches cristallines et de leur recouvrement sédimentaire. La sédimentation se distingue par une grande complexité.

Dans la région de Doba au sud du Tchad, où le Continental terminal est le plus épais (environ 800 m, cf. supra), la série repose sur le Maastrichien. Elle est représentée essentiellement par des ensembles sableux ou gréseux ; les sables sont intercalés d’argilites et contiennent localement des couches de kaolin au sommet. Les affleurements sont couronnés de plateaux latéritiques; la cuirasse peut être bauxitique.

La formation de Kerri Kerri, affleurant au nord du Nigeria, entre Azare et Potiskum, est essentiellement constituée des grès (Kerri Kerri sandstones, parfois attribués au Paléocène). A Maiduguri, le Continental terminal, dont l’épaisseur atteint presque 200 mètres, se trouve à environ 260 mètres de profondeur, recouvert par des dépôts essentiellement pliocènes (fig. 5).

Dans les régions de Termit et d’Homodji, la série repose sur le Crétacé et elle est constituée de bancs d’oolithes ou de pisolites ferrugineux, séparés et suivis par des grès argileux à empreintes végétales.

La définition du Continental terminal varie selon auteur et pays mais, en général, la série est considérée d’Oligocène-Miocène.

Les formations du Pliocène, répandues dans le Bassin du Lac Tchad, sont recouvertes par des dépôts quaternaires allant de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Les renseignements dont nous disposons proviennent des forages d’eau et pétroliers.

Les dépôts du Pliocène inférieur sont sableux, et leur puissance varie de 30 à 90 mètres. La période du Pliocène moyen à supérieur est caractérisée par une sédimentation lacustre à limnique. Ses dépôts sont essentiellement argileux (série argileuse au Tchad) et leur puissance peut atteindre 300 mètres dans la région du Lac Tchad (voir les forages dans la région de Dillia au Niger, à Baga Sola ou à Rig-Rig au Tchad, figure 5 et 6). Les argiles, généralement grises, ou vertes, localement à intercalations sableuses, peuvent être gypsifères et contenir des diatomites.

Les sédiments du Villafranchien (sommet du Pliocène-début du Quaternaire) affleurent au centre du Bassin, dans le Bahr el Ghazal et la région de Koro Toro au Tchad, où plusieurs gisements de vertébrés ont été trouvés. Il s’agit de sables avec des intercalations de silts, d’argiles et de diatomites, d’origine fluviale et fluvio-lacustre.

CENTRAL AFRICAN RIFT SUBSYSTEM - CHAD

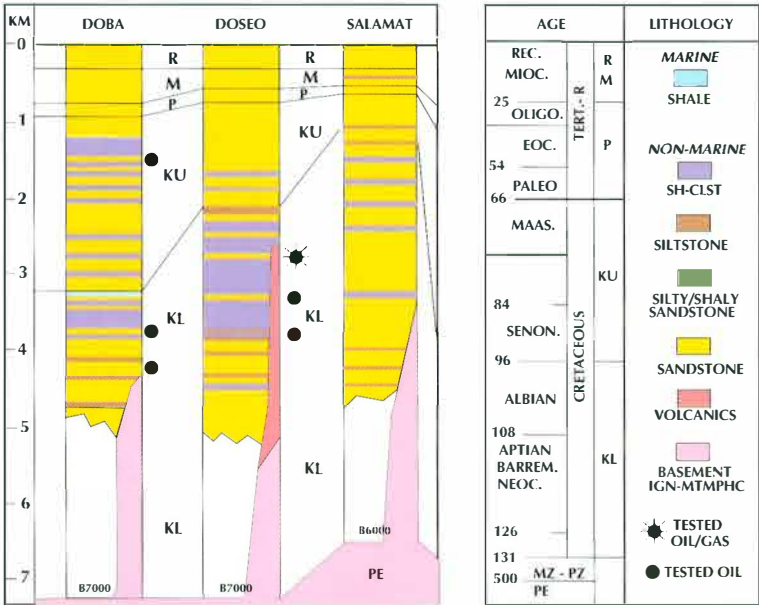


Figure 4b : Séries stratigraphiques généralisées des sous-systèmes africains central. Notez l’épais développement du crétacé inférieur schisteux à Doseo, en comparaison à Doba et Salamat et l’absence presque totale de sédiment du crétacé supérieur à Salamat.

Figure 4b : generalized stratigraphic columns CAS, note thick development of Early Cretaceous shales in Doseo relative to Doba and Salamat and near absence of Late Cretaceous sediments in Salamat.

whereas the Senonian of about 700 metres thickness is composed of white sands interbedded with grey clays.

Cretaceous formations in other parts of the basin are overlain by youn

ger sediments. These may be quite thick locally, as near Maiduguri where they have a thickness of more than 500 metres.

The Tertiary

Palaeocene formations are known from several rift basins including those of Grein, Kafra and Ténéré (figure 4b). Sandstones overlain by shales of lacustrine origin dated to the Eocene occur in the Termit Basin. The most widespread Tertiary deposits are of the Continental terminal (Oligocene-Miocene). They outcrop at the edge of the basin to the south of the Erdis Plateau in northern Chad, in southern Chad where they extend to northern Central African Republic and Cameroon, southwest of Maiduguri in Nigeria and southwest of Zinder and in the Termit and Homodji areas of Niger. They have a thickness in excess of 200 metres and are usually overlain by younger sediments but in the rifts they may be as much as 800 m thick. They are composed mainly of sands and clays and capped by laterites.

The Continental terminal occurs on the Precambrian Basement over most of the basin and results from alteration of crystalline rocks and a very complex sedimentary cover laid down under humid climatic conditions.

In the Doba area of southern Chad where the Continental terminal is at its thickest at 800 m, the series overlies the Maastrichian and is composed mainly of sands or sandstones interbedded with claystones that locally contain kaolin in the upper part. Its outcrops are capped by laterites that sometimes contain bauxite.

The Keri Keri formation of northern Nigeria between Azare and Potiskim is mostly of sandstones dating from the Palaeocene. Near Maiduguri the 200 metres thick Continental terminal is overlain by 260 metres of younger, mainly Pliocene, sediments (figure 5). In the Termit and Homodji areas the series is deposited on the Cretaceous and is composed of beds of ferruginous oolites or pisolites, overlain by clayey sandstones containing traces of vegetative matter.

The widespread Pliocene formations of the Chad Basin are generally overlain by Quaternary deposits. The Lower Pliocene sediments are sandy and 30-90 metres thick. The Middle and Upper Pliocene sediments are lacustrine to limnic and are mainly clayey in nature, often with gypsum and diatomites, and sometimes interbedded with sands. They are up to 300 metres thick at Dillia in Niger and at Baga Sola and Rig Rig in Chad (figure 5, figure 6).

Villafranchian sediments from the Upper Pliocene to the beginning of the Quaternary outcrop in the centre of the Chad Basin, and in the Bahr

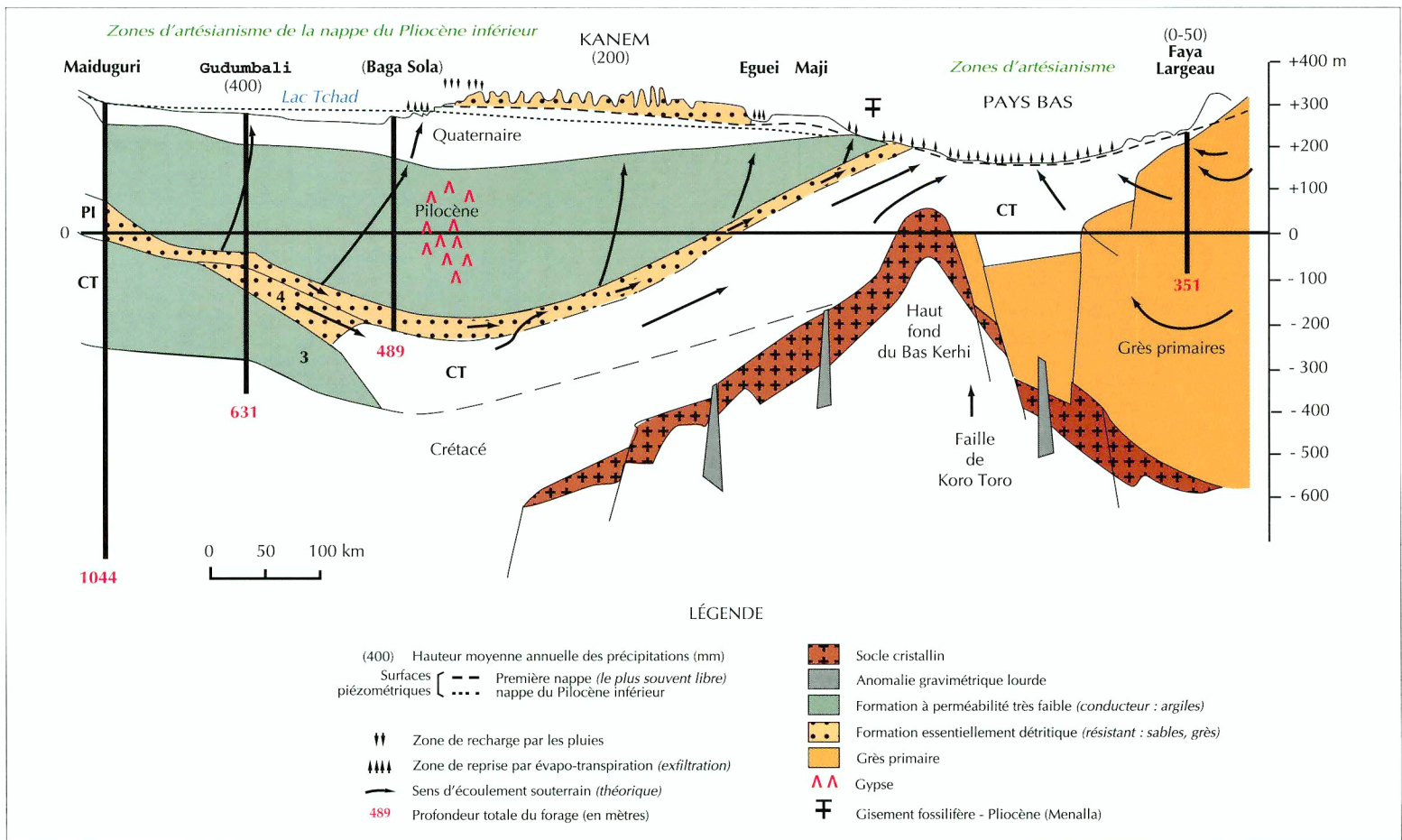


Figure 5 : Coupe schématique Maiduguri - Faya (d'après J.L. SCHNEIDER, 1985).
Figure 5 : Geological cross-section Maiduguri-Faya (after J.L. SCHNEIDER, 1985).

Quaternaire

Les formations du Quaternaire sont très répandues et elles occupent la majeure partie du Bassin, où elles recouvrent les formations antérieures. Elles diffèrent quant à leur origine et leur lithologie et comprennent : les dépôts fluvio-lacustres, les alluvions, les sables éoliens, les altérites (latérites...) et les volcanites.

Les roches volcaniques apparaissent en quelques endroits (au nord du massif de Termit), mais on les trouve essentiellement au pourtour du Bassin (dans le Ouaddaï, le Tibesti, l'Aïr, à Jos...). Les formations éoliennes sont développées dans la partie septentrionale du Bassin, approximativement au nord du 13^e parallèle, et les latérites, en partie antéquatérnaires, au sud de cette limite.

Les dépôts fluvio-lacustres, formés en liaison avec le remblaiement du Bassin, occupent pratiquement tout le centre de ce dernier. Leur épaisseur, faible en bordure, peut atteindre 50 mètres au centre du Bassin ; elle est d'environ 180 mètres dans la partie sud-est du fossé de Termit (forage de Kosaki) du fait d'une forte subsidence.

Pour le Quaternaire, les corrélations sont difficiles à faire et la cartographie malaisée à réaliser, en raison de la grande hétérogénéité des dépôts (due aux conditions locales, aux changements des conditions climatiques...), du fait que la limite entre le Pliocène et le Quaternaire est difficile à établir et que les connaissances acquises sur les formations quaternaires sont très inégales. Cependant, ces formations ont fait l'objet d'études systématiques dans certaines régions (partie nigérienne du Manga, PIRARD, 1963 ; Kanem au Tchad, SERVANT, 1973).

La période du Pléistocène (1,7 Ma jusqu'à environ 20 000 ans BP) correspond à des alternances de conditions humides (avec le dépôt des formations lacustres à limniques et des sables fluviatiles) et de conditions arides.

Les sables du Pleistocène inférieur, dont l'épaisseur peut atteindre 40 mètres, ont été mis en évidence au Tchad dans le fossé de Kanem au Chari-Baguirmi. Cependant, des formations fluviatiles argilo-sablonneuses ("alluvions anciennes") prédominent au sud et au sud-est du pays (au Salamat). Déposés sur le Continental terminal, ces sédiments se poursuivent en RCA où ils ont été cartographiés sous le nom de formations néotchadiennes.

Dans la région frontalière du Niger-Nigeria, au sud de Zinder, affleurent des grès orangés tendres, parfois graveleux, à niveaux d'argiles (grès de Malaoua ; PIRARD, *op. cit.*). Ces grès supportent des sables hétérogènes observés sur les bordures du cristallin de Gouré et sur des grès de

el Ghazal and Koro Toro areas in Chad. They are of sand interbedded with silts, clays and diatomites of fluvatile and fluvio-lacustrine origin and contain fossil vertebrates.

The Quaternary

Quaternary deposits of diverse origin and lithology overlay older formations over the whole of the basin (figure 3). They comprise fluvio-lacustrine sediments, alluvial deposits, wind-blown sands, alterites (laterites) and volcanics. Except in the northern Termit, volcanic rocks occur mainly at the edge of the basin, as in Waddai, Tibesti, Aïr and on the Jos Plateau. Aeolian formations are widespread in the north of the basin, to the north of the thirteenth parallel while the laterites (some of which are earlier than the Quaternary) are found south of this line.

The fluvio-lacustrine deposits that result from infilling of the basin cover almost the whole of its centre. Their thickness increases from almost nothing at the periphery to 50 metres at the centre and attains 180 metres in the southeast part of the Termit Trough.

Mapping of the Quaternary is difficult because of the great heterogeneity of the deposits. This itself results from changing local and climatic conditions, because the limit between the Pliocene and the Quaternary is unclear, and because knowledge of the Quaternary is still rather fragmentary.³

The Pleistocene (1.7 million to 20 000 years BP) is characterized by alternating humid and arid conditions, the former accompanied by the formation of lacustrine to limnic deposits. Lower Pleistocene sands up to 40 metres thick occur in the Kanem Trough and in the Chari Baguirmi area in Chad. Clayey and sandy fluvatile deposits - the so-called "old alluvium"- are laid down on the Continental terminal series and are widespread in the Salamat area in southern Chad and extend to northern Central African Republic where they are known as the Neo-Chadian formations.

On the border of Niger and Nigeria to the south of Zinder there are soft orange-coloured sandstones that are locally pebbly with claystones. These are overlain by heterogenous sands outcropping along the limits of the crystalline Basement of Goure, and by Koutou sandstones that are supposedly the equivalent of the upper part of the Chad formation. The latter is composed of a series of undifferentiated sands interbedded with clays and covers most of northeastern Nigeria: it is 50 metres thick near Maiduguri (figure 5) but 100 metres thick in the area of the present Lake in Niger, where it is composed entirely of deltaic sands.

3 - For further discussion see PIRARD, 1963 and SERVANT, 1973.

4 - This section draws mainly on FRANCONI, 1985 ; SCHNEIDER, 1989 ; GENIK, 1992 and KUSNIR, 1993. It excludes the minerals of the crystalline massifs at the periphery of the Chad basin.

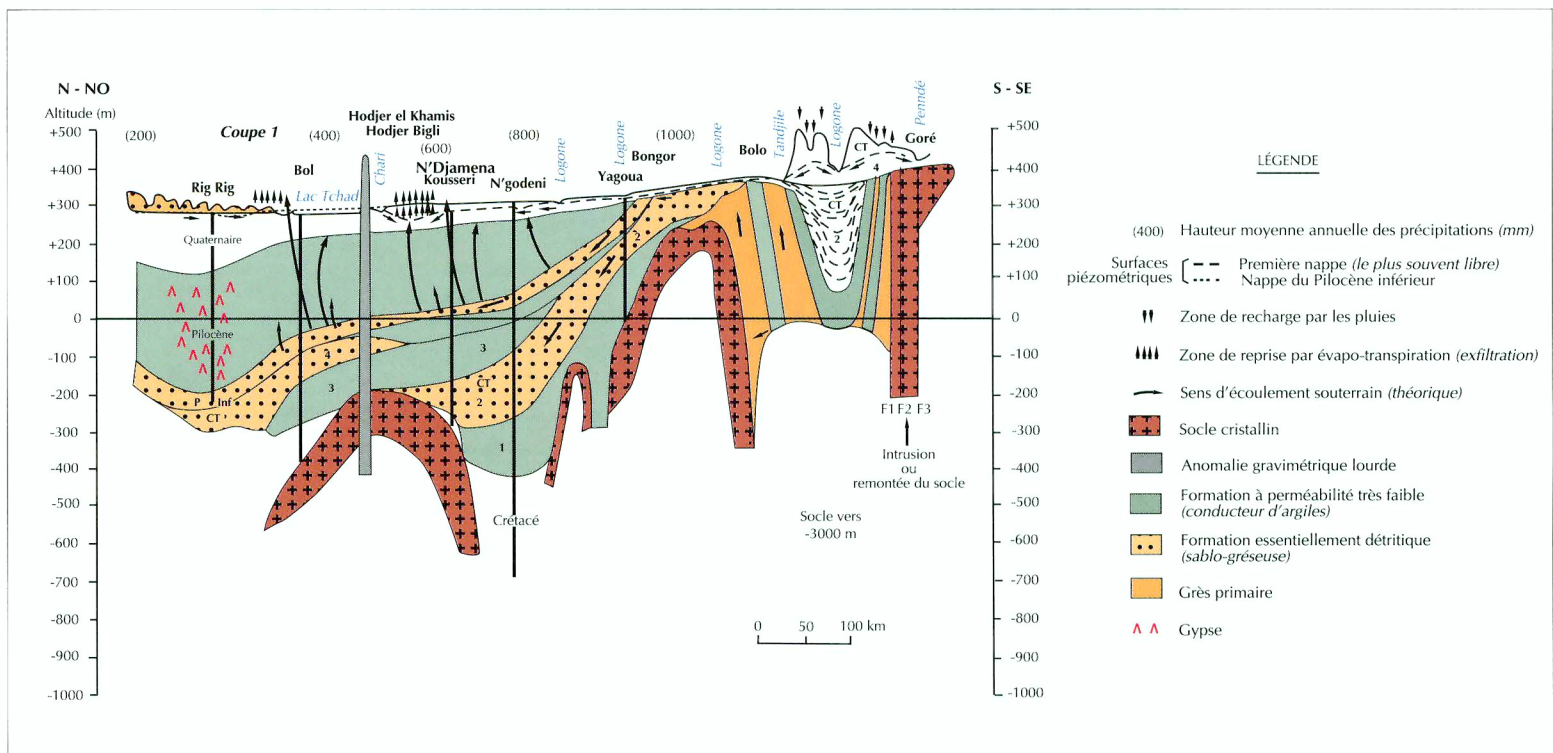
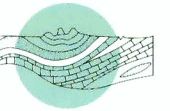


Figure 6 : Coupe schématique Rig Rig - Goré (d'après J.L. SCHNEIDER, 1985).
Figure 6 : Geological cross-section Rig Rig-Goré (after J.L. SCHNEIDER, 1985).

Koutou, et sont considérés comme l'équivalent de la partie supérieure de la formation du Tchad.

La formation du Tchad (indifférenciée), représentée par des séries de sables intercalés d'argiles, occupe la majeure partie du nord-est du Nigeria (*Chad formation*). Son épaisseur atteindrait une cinquantaine de mètres à Maiduguri (fig. 5). Au Niger, dans la région du Lac, où elle est purement sableuse à caractère deltaïque, elle atteint 100 mètres de puissance.

Des dépôts lacustres et fluviaux, représentés par des argiles, par des grès limoneux et par des couches de diatomites, contenant des fossiles (vertébrés...) du Pléistocène moyen, affleurent à l'est de Koro Toro, au Tchad.

Des formations lacustres du Pléistocène supérieur (série de Modji ou de l'Egueï et de Padelanga) sont connues dans le Kanem, au nord-est du Lac Tchad, d'où elles se poursuivent au Niger. Elles sont composées essentiellement d'argiles, avec des couches gypsifères, des diatomites, des niveaux sableux et des marnes rares.

La période entre 20 000 et 12 000 ans BP (Ogolien-Kanémien), correspondant au maximum des conditions froides sur la planète, est marquée par une aridité importante. Elle a vu une intense érosion des affleurements rocheux en zone saharienne et la création d'un erg qui s'étendait sur toute la zone sahélienne actuelle. D'importantes formations dunaires se sont créées au Niger, grosso modo au sud de Dibella et dans le Tchad central jusqu'au sud de 13^e parallèle. La hauteur des dunes peut dépasser 80 mètres dans l'erg de Manga.

Une nouvelle période humide au début de l'Holocène (12 000 BP à nos jours) entraîne la formation d'étendues d'eau plus au moins vastes, notamment dans les creux interdunaires du Manga, où se forment des diatomites. Au Kanem, les dépôts de ces lacs comprennent des marnes limoneuses et des limons calcaires (série de Labdé). Ensuite, le Lac atteint la cote 400 et envahit le Ténéré. Les formations lacustres, essentiellement sables et alluvions à gravier, comportent des diatomites très pures en bancs métriques, séparés par des dépôts clastiques, et qui affleurent largement dans les régions d'Achegour et d'Agadem au Niger.

Le retrait du lac à la cote de 350 mètres est marqué par le dépôt des alluvions sableuses des larges vallées (Dillia...).

Vers 6 000 ans BP, le Lac (Mega Tchad) atteint l'altitude de 325 mètres et occupe une superficie supérieure à 300 000 kilomètres carrés. Des cordons dunaires et des plages perchées, marquant son littoral, s'étendent de Koro Toro, par Arbouchatak, Bongor, Maiduguri jusqu'à Nguigmi (fig. 7). La sédimentation lacustre de cette époque, dont les dépôts sont observés dans le Chari-Baguirmi, est caractérisée par l'alternance de sables et d'argiles.

Des sables d'origine éolienne s'accumulent dans les dépressions lacustres du Ténéré.

L'Holocène supérieur est caractérisé par l'évolution vers un climat aride

Lacustrine and fluvial deposits comprising clays, silty sandstones and diatomites and containing fossil vertebrates of the Middle Pleistocene outcrop near Koro Toro in Chad. Lacustrine sediments of the Modji or Egueï and Padelanga series of the Upper Pleistocene occur at Kanem to the southeast of Lake Chad and also in Niger. These are essentially composed of clays with layers of gypsum, diatomites, sands and some marls.

The Ogolian-Kenemian period 20 000-15 000 years BP, coinciding with the Wurm glacial stage and the coldest period ever experienced on earth, was also one of great aridity. Rock outcrops over the whole of the Sahara were intensively eroded and a great erg extending over the whole of the present Sahel zone was created. Major dunes were formed in eastern Niger to the south of Dibella and in central Chad north of the thirteenth parallel, some being over 80 metres high as in the Manga erg.

During a humid period starting early in the Holocene, some 12 000 years BP, and continuing to the present, vast lakes were created, especially in the interdune depressions in Manga where diatomites are found. The lakes progressively rose to an altitude of 400 metres and flooded Ténéré. Deposits of these lakes at Kanem comprise silty marls and calcareous silts of the Labdé series. Other lacustrine deposits are mostly sand and pebbly alluvium and include very pure diatomites that occur in layers up to several metres thick, interbedded with clastic sediments. The diatomites are widespread in the Achegour and Agadem areas in Niger. The retreat of the lake to 350 metres altitude was accompanied by the formation of sandy alluvium in some of the large valleys, such as Dillia.

By 6 000 years BP the so-called Mega-Chad was reduced to 325 metres altitude but still covered an area exceeding 300 000 km². Dunes and beach sands indicating its shore line occur from Koro Toro, Arbouchatak, Bongor and Maiduguri to Nguigmi (figure 7). The lacustrine sediment of this period is characterized by the alternation of sands and clays, as seen at Chari-Baguirmi. There are also aeolian sands piled up in Ténéré.

The transition to an arid climate commenced later in the Holocene, this being accompanied by the shrinking of the Lake, with the exception of some minor humid phases, which has continued down to the present. The geological formations of this period include lacustrine sediments that are mostly clayey in the littoral area, the alluvium of the present rivers and the aeolian dunes in the northern part of the basin.

Mineral resources

The mineral resources of the Lake Chad basin are little known and have been poorly explored except for the oil exploration activities which have been carried out since the 1960s. Current exploitation is

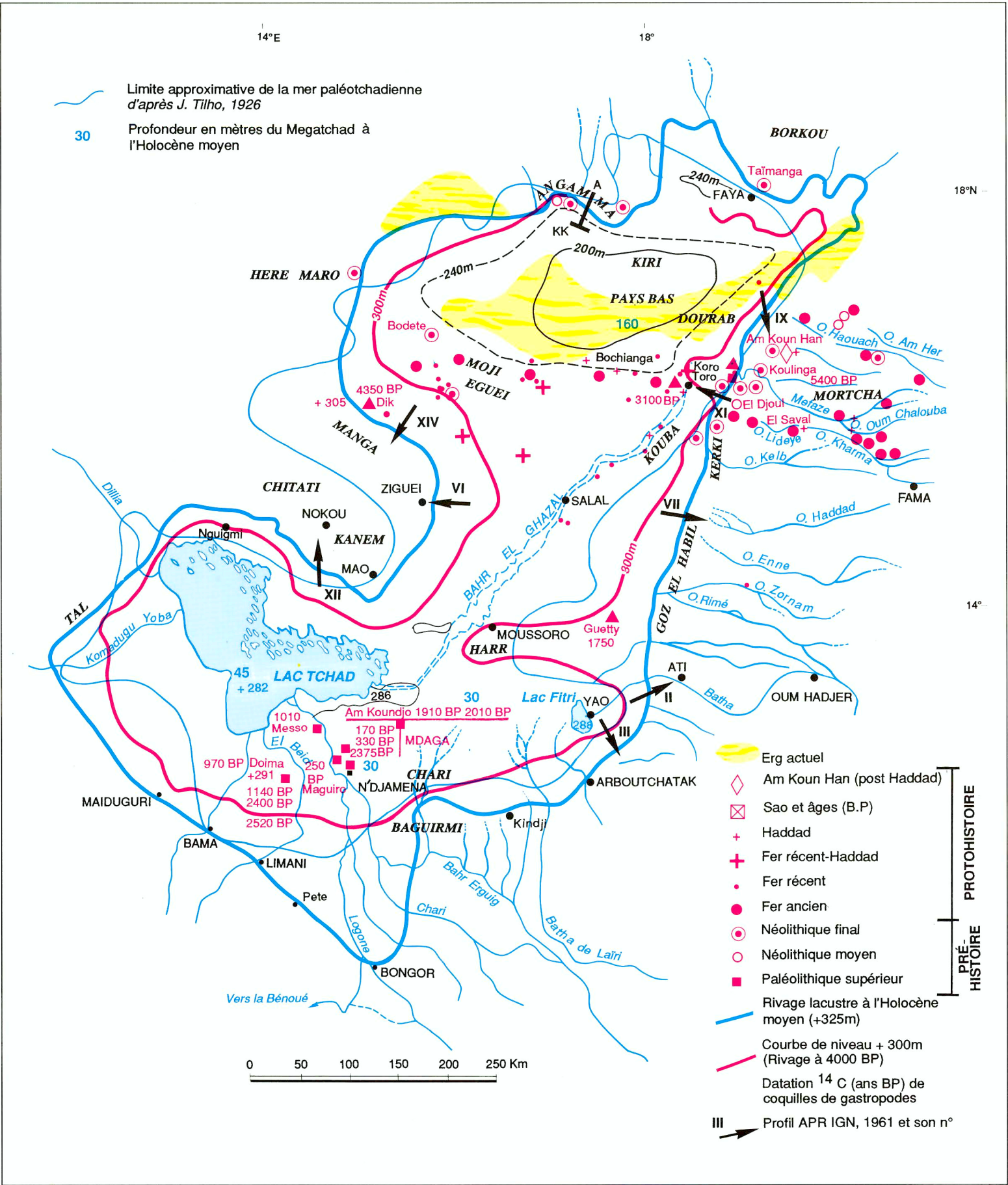


Figure 7 : Le Paléolac Tchad à l'Holocène moyen et à la période protohistorique (d'après J.L. SCNEIDER, 1966).

Figure 7 : PalaeoLake Chad in the Middle Holocene and Protohistorical times (d'après J.L. SCNEIDER, 1966).

et par l'abaissement du niveau du Lac qui se poursuivent jusqu'à nos jours. Néanmoins, plusieurs phases arides sont connues. Les formations de cette époque comprennent : les dépôts lacustres, essentiellement argileux dans la zone littorale du Lac, les alluvions des cours d'eau actuels et les sables éoliens actuels (dunes vives) qui se développent dans la partie septentrionale du Bassin.

Ressources minérales

Les ressources minérales du Bassin sont peu connues, par manque de prospections. Seule exception notable, le pétrole, dont les recherches se poursuivent depuis les années 60. A l'exception de certains matériaux de carrière, l'exploitation de ces ressources est artisanale.

Nous donnons ci-après un bref aperçu des ressources du sous-sol du Bassin, par matière ou par groupe de matières, excluant des ressources de massifs cristallins en bordure du Bassin. L'essentiel des renseignements présentés est tiré des ouvrages cités en référence (notamment FRANCONI, 1985, GENIK, 1992 et KUSNIR, 1993).

small scale and artisanal in nature with the exception of quarrying for stone, gravel and sand.

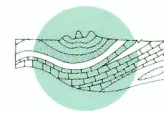
Energy resources

Petroleum

Oil exploration carried out since the 1960s has resulted in the discovery of 15 sources of oil and gas hydrocarbons, mostly in Chad. Full data on the reserves have not been published but in 1983 the potential

of the whole basin was estimated at 500 million tonnes of oil and 510 cubic gigametres of gas.

Hydrocarbons were discovered in all three basins in southern Chad. In the Doba basin oil was found at Mangara, Miandum and Kome in Lower Cretaceous lacustrine shales and sandstones and in Upper Cretaceous reservoirs. The first source yields a high gravity oil with an average API of 34° and the second a low-medium gravity oil with an API of 15-25°. It is intended to exploit the Kome source commercially



Ressources énergétiques

Pétrole. Les recherches du pétrole, menées avec succès depuis les années 60, ont abouti à quinze découvertes d'hydrocarbures, de pétrole et de gaz, situées pour la plupart sur le territoire du Tchad (GENIK, 1992). Les données sur les réserves ne sont pas diffusées ; en 1983 (!), le potentiel du Bassin du Lac Tchad a été estimé à 500 millions de tonnes de pétrole et 510 gigamètres cubes de gaz.

Les trois fossés du Tchad méridional contiennent des hydrocarbures. Plusieurs forages se sont révélés positifs dans le fossé de Doba (Mangara, Miandum, Komé). Le pétrole, généré des schales argileux du Crétacé inférieur, est contenu dans les réservoirs du même âge (pétrole lourd, de 34° API en moyenne) et du Crétacé supérieur (pétrole léger à moyen, 15-25° API). Un consortium, dirigé par la compagnie ESSO, envisage d'exploiter le gisement de Komé et de transporter le pétrole à la côte camerounaise par un pipe-line.

Dans le fossé de Doséo, on a trouvé du gaz et du pétrole paraffinique de gravité moyenne à haute (24-39° API) dans le grès du Crétacé inférieur, en plusieurs endroits (à Bambara, au sud-est de Sahr...). Des traces de pétrole ont été signalées également à Kedeni, dans le fossé de Salamat, avec le potentiel des nouvelles découvertes dans les grès crétacés qui ont des qualités de réservoirs.

Dans le "bassin" de Termit, on a découvert des hydrocarbures dans le Crétacé et dans l'Eocène. Le pétrole lourd (43-46° API) et le gaz, piégés dans les sables du Crétacé supérieur, sont générés des shales estuariers du même âge. Les roches mères du pétrole à 20-36° API trouvé dans les grès de l'Eocène seraient des shales crétacés (marins) et éocènes (lacustrines). Plusieurs forages positifs sont localisés sur le territoire nigérien (Yogou, Sokor, Madama...).

Dans la partie tchadienne de ce "bassin" (fossé de Kanem), on a trouvé des hydrocarbures dans le forage Kanem 1, ensuite à Koumia et à Sédigui. Il y a un projet d'exploitation du pétrole léger du gisement de Sédigui en liaison avec la construction d'une mini-raffinerie à N'Djaména. Cette raffinerie devrait couvrir environ 80 p. 100 des besoins du Tchad en produits pétroliers.

Charbon et lignite. Les séries crétacées et celles du Continental terminal contiennent du charbon et du lignite dans les bassins nigériens et des Iullemmeden. Dans le Bassin tchadien, la présence de débris charbonneux a été signalée dans le Crétacé dans plusieurs forages pétroliers (Bambara, Kedeni au sud du Tchad, Kosaki au nord du Lac...) mais à une profondeur trop grande pour que ces indices aient un intérêt économique.

Énergie géothermique. D'après les mesures thermométriques effectuées sur quelques forages, les aquifères de certaines formations sédimentaires du Bassin (Tertiaire-Quaternaire dans la région de N'Djaména et Crétacé inférieur au sud-est du Tchad) possèdent des ressources géothermiques à basse enthalpie (30-38°C, exceptionnellement autour de 100°C, SCHNEIDER, 1989).

Minerais métalliques

Bauxites. Des bauxites ou des cuirasses bauxitiques ont été signalées en plusieurs endroits. Dans la région d'Agadem (Niger), les bauxites pisolitiques, titrant autour de 40 p. 100 Al₂O₃ reposent sur des argiles du Crétacé. Les bauxites de Termit se développent sur des argiles du Crétacé supérieur. Un seul gisement, celui de Koro, situé au nord-est de Moundou, au Tchad, a été exploré. Il est formé d'une série de petits plateaux où l'on trouve une bauxite oolitique de bonne qualité ; elle est constituée essentiellement de gibbsite et contient environ 57 p. 100 Al₂O₃. L'épaisseur atteint une dizaine de mètres. Les réserves seraient de l'ordre de 7 millions de tonnes (Mt).

Fer. Dans le passé, la population a exploité le fer des cuirasses latéritiques en de nombreux endroits. Certains gîtes, notamment ceux de Termit, d'Agadem et d'Homodji au Niger, représentés par des niveaux de fer oolitiques, contiennent jusqu'à 52-55 p. 100 Fe (FAURE, *op. cit.*).

Rutile. Les alluvions du Chari, à l'aval du Bousso, au Tchad, contiennent du rutile (minerai de titane).

Or. L'or est exploité artisanalement des alluvions du ruisseau de Mayo N'Dala, au sud-ouest du Tchad. L'or provient des filons aurifères encaissés dans des roches du socle précambrien tout proche.

and transport the oil by pipeline to the Cameroon coast. In the Dosso basin, medium-high gravity (24-39° API) paraffinic oil and gas are contained in Lower Cretaceous sandstones at several places, including Bambara and to the southeast of Sahr. Traces of oil are also present at Kedeni in the Salamat Trough and there is further potential for oil in the Lower Cretaceous sediments.

Hydrocarbons have been discovered in the Termit basin in Lower Cretaceous and Eocene deposits. High gravity (43-46° API) oil and gas trapped in Cretaceous sands are generated from coeval estuarine shales. Oil of 20-36° API in Eocene sandstones has its source in Upper Cretaceous and Eocene marine and lacustrine shales. Several discoveries have been made in Niger at Yogou, Sokor and Madama. Sources in Chad include Kanem, Koudia and Seguidi. There is a project to exploit light oil from the Seguidi deposit by means of a mini-refinery in N'Djamena, which would cover about 80 per cent of Chad's needs for petroleum products.

Coal and lignite

The Continental terminal and Cretaceous series in the Nigerian and Iullemmeden basins contain coal and lignite. Coal has been found in several oil exploration bores in the Cretaceous in Bambara, Kadeni and Kosaki in Chad but as these are at great depth they are of little economic value at present.

Geothermal energy

Thermometric measurements in several boreholes indicate that the aquifers of some formations of the Tertiary-Quaternary near N'Djamena and of the Cretaceous in southeast Chad have geothermal potential of low enthalpy with temperatures normally of 30-38°C but exceptionally up to 100°C.

Metallic minerals

Bauxites and bauxitic laterites are reported from several parts of the Chad basin. Pisolithic bauxites in the Agadem area contain about 40 per cent Al₂O₃ as do the overlain Cretaceous clays of the Termit area in Niger. The Koro deposit northeast of Moundou in southern Chad is formed of several plateaux and has oolitic bauxite of good quality that contains gibbsite 10 metres thick and with an estimated reserve of seven million tonnes of 57 per cent Al₂O₃.

Some occurrences of **iron** ores in oolitic layers, especially at Termit, Agadem and Homodji in Niger, contain up to 52-55 per cent iron. Lateritic duricrust has been exploited for iron on a small scale by native populations in the past at numerous places.

Rutile that contains titanium-ore is known to occur in the alluvial deposits of the Chari river south of Bousso.

Gold from the reefs of the nearby Precambrian Basement is exploited on a small scale in the alluvium of the Mayo N'dala stream in southwest Chad.

Copper ores that occur in the northeast of the Central African Republic are associated with the Basement formations that outcrop in a small inlier close to the limit of the Chad basin.

Industrial minerals

Kaolin

Some occurrences of kaolin, such as those at Koro de Lai in Chad and Agadem and Termit in Niger are constituted by kaolinitic clays in the footwall of bauxites. Other known occurrences include those in the Continental terminal formations at Kelo in south Chad and in the Senonian 20 km northwest of Seguedine.

Diatomites

Huge reserves of good quality diatomites occur in Niger, Nigeria and Chad. These result from biochemical sedimentation along the Quaternary Lake shores. These are large outcrops in Termit, Agadem, Fachi and Achegour in Niger, Koro Toro and Faya in Chad, and Abakire and Bularaba (southwest of Maiduguri) in Nigeria. The thickness of the layers can be as much as several metres and the surface



Œivre. Le gîte de cuivre de N’Gad , au nord-est de la RCA, est lié aux formations du socle affleurant en boutonnière en bordure du Bassin.

Substances minérales

Kaolin. Certains indices de kaolin, tels que Koro de La  au Tchad, Agadem et Termit au Niger, sont représentés par des argiles kaoliniques localisées au mur des couches de bauxites. Parmi d’autres indices connus, signalons K lo, du Continental terminal situé dans la partie méridional du Tchad et S guedine, du Sénonien (  environ 20 km au nord-ouest de S guedine).

Diatomites. Des réserves importantes de diatomites de bonne qualité existent au Niger, au Nigeria et au Tchad. Les dépôts diatomitiques résultent d’une sédimentation biochimique sur les bords des lacs durant le Quaternaire. Ils affleurent abondamment dans les zones suivantes : Termit, Agadem, Fachi et Achegour au Niger, Koro Toro et Faya Largeau au Tchad et Abakire et Bularaba au sud-ouest de Maiduguri, au Nigeria. La superficie de l’affleurement individuel peut dépasser 300 kilomètres carrés et l’épaisseur de la couche atteindre plusieurs mètres ; les réserves de chaque zone peuvent être évaluées à 200-500 million de tonnes.

On trouve des diatomites également dans de nombreuses (plusieurs centaines) dépressions interdunaires au nord-est et à l’ouest du lac. Les dépressions ont de 1 à 2-3 kilomètres de long et de 400 à 1 000 mètres de large. La puissance de diatomites qui affleurent à la surface varie de 2 à 15 mètres. Les réserves de la zone au nord-est du Lac (région Mao-Tiona au Tchad) sont estimées à 2 milliards de tonnes.

Natron, sel gemme. On trouve du natron dans les dépressions interdunaires du littoral nord-est du lac, dans une bande large d’environ 25 kilomètres. Le “natron” (divers carbonates sodiques, surtout la gaylussite et le trona) constitue une croûte superficielle de quelques centimètres d’épaisseur, formée par l’évaporation de nappes d’eau affleurantes.

Les saumures de certains lacs ou mares salés peuvent également contenir du natron. Les plus connus sont les lacs d’Arrigui et d’Achenouma dans le bassin de Bilma (Niger) mais on en trouve également en d’autres endroits (près de Nokou et de Faya Largeau au Tchad, etc.).

Certaines natroni res (celles du littoral nord-est du Lac, Achenouma) sont exploitt es artisanalement.

Les exploitations artisanales du sel gemme (NaCl) existent dans plusieurs parties du Bassin. Les plus célèbres sont celles des oasis de Bilma mais le sel est extrait également des salines de S guedine et de Fachi, situées respectivement au nord et à l’ouest de Bilma. Le chlorure de sodium est contenu dans les saumures de lacs salés (souvent mélangé avec le sulfate de sodium, la th nardite) et la concentration est achevée par l’évaporation naturelle.

Gypse. Des indices de gypse existent dans les formations du Pliocène-Quaternaire (dans la *Chad formation* du Bornou au Nigeria, dans la région du Bahr el Ghazal au Tchad...) ainsi que dans les formations du Crétacé supérieur (argile à gypse à Cheffadène,   Kafra,   Agadem et à Aschia Timanou au Niger).

Phosphates. Signalons que les couches de calcaires à dents de poissons, intercalées dans les argiles d’Aschia Timanou, contiennent des nodules de phosphates..

Calcaires. Des niveaux calcaires apparaissent dans le Crétacé moyen à supérieur en bordure du Bassin. On les trouve au Niger, à l’est du Damergou ; le long de la route Tanout-Termit au Nigeria,   Gombe au sud-ouest de Maiduguri ; au Cameroun, près de Figuil et au Tchad, à l’ouest de Pala. Le gisement de Figuil a été exploité pour la production de ciment. Les calcaires à lumachelles de la série de Lamé affleurant à l’ouest de Pala sont exploités pour la production artisanale de la chaux à Louga et le gisement de Baoar  a été prospecté en vue de l’implantation d’une cimenterie.

Sable de verrerie. Malgré l’extension des sables, il n’est pas aisé d’en trouver en surface qui soient purs. Les sables éoliens sont d’habitude fins et ferrugineux, et ceux de la majeure partie des vallées contenant des débris de carapaces ferrugineuses sont également riches en fer. Ce n’est qu’à une profondeur de plusieurs mètres, dans certaines vallées, que l’on peut trouver des sables plus grossiers et convenables pour l’industrie du verre. Ils

area of individual deposits as much as 300 km . Total reserves are estimated at 200-500 million tonnes. Diatomites also occur in several hundred interdune depressions northeast and west of Lake Chad. These depressions are 1-3 km long, 400-1 000 metres wide, with the diatomite beds having a thickness of 2-15 m. Reserves of this type in the Mao-Tiona are estimated at 2 000 million tonnes.

Soda ash and salt

Soda ash occurs in interdune depressions along the northeast shore of the Lake in a belt some 25 km wide. Comprised of various carbonates of sodium - mainly gaylussite and trona - it constitutes a crust, formed by evaporation of the water table and several centimetres thick, at the ground surface. There is also some soda ash in the waters of some salt lakes or marshes, as at Arrigui and Achenouma lakes in the Bilma area in Niger and at Nokou and Faya in Chad. It is exploited in some places, including Achenouma and on the northeast shore of Lake Chad, by local people and used in commerce over a wide area.

Salt (NaCl) is exploited on a small scale in many places. These include the well-known saline area of Bilma oasis and the Seguedine and Fachi salt lakes, respectively north and west of Bilma. The salt, concentrated by natural evaporation, is from lake brines and is often associated with thenardite.

Gypsum

Gypsum occurs in the Pliocene-Quaternary formations, such as the so-called Chad formation at Bornu in Nigeria and in the Bahr el Ghazal area in Chad. It is also found in the gypsiferous shales of the Upper Cretaceous at Cheffadene, Kafra, Agadem and Aschia Timanou in Niger.

Limestone

Layers of limestone occur at the edge of the basin in the Middle to Upper Cretaceous east of Damergou along the Tanout-Termit road in Niger, at Gombe southwest of Maiduguri in Nigeria, near Figuil in Cameroon and to the west of Pala in Chad. The Figuil deposit has been used for the manufacture of cement. The lumachelle limestones of the Lamé series that outcrop in the Pala area are used for lime manufacture at Louga and the Baoar  deposit has possibilities for cement manufacture.

Limestones interbedded with shales near Aschia Timanou contain phosphate nodules.

Glass sands

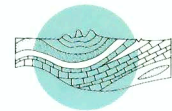
In spite of their abundance in the basin it is not easy to find pure sand at the surface. Sands of aeolian origin are generally of too fine a grain and too ferruginous for glass manufacture and most of the alluvial sands are rich in iron and contain fragments of laterite. Coarse-grained pure sands suitable for glass are found only in a small number of valleys and are only a few metres deep: they have been reported from Ati and Oum Hadjer in Chad.

Building materials

No full study of building or quarry materials has been undertaken. Some materials are quarried in the vicinity of the more populated areas in the southern part of the basin including silt or sandy clays for bricks, sands and gravel for concrete, and quarry stone and ballast from the Basement rocks at the periphery or Basement inliers within the basin. The last includes basalt and granite in northern Cameroon, rhyolite southeast of Lake Chad and granite in the Barth  area. Laterite is also sometimes used as a road surface.

Semiprecious stones

Pale to dark blue malgachites from Guera in central Chad could be exploited as semiprecious stones.



ont été signalés dans quelques sondages ou puits en divers endroits (par exemple entre Ati et Oum Hadjer au Tchad, cf. KUSNIR, 1993).

Matériaux de construction. Ni l'étude des matériaux de construction, ni le recensement des carrières n'ont été réalisés. Les matériaux de carrière suivants sont extraits dans les zones plus peuplées (partie sud du Bassin) :

- argile à brique (le plus souvent, on utilise des limons ou des argiles sableuses) ;
- sables et graviers (pour le béton...) ;
- matériaux d'empierrement ; les granulats sont extraits des carrières de roches du socle en bordure du Bassin (basaltes, granites au Nord-Cameroun) ou des affleurements de ces roches au milieu du Bassin (rhyolite au sud-est du Lac, granites dans le Batha au Tchad, etc.). Localement, on utilise la latérite pour l'aménagement des routes.

Signalons encore que certaines roches, par exemple des malgachites du Guéra (Tchad central), bleu clair à bleu foncé, pourraient être exploitées comme pierres ornementales.



Bibliographie

BLACK R., JAJOU M. et PELLATON C., 1967. Notice explicative de la carte géologique de l'Aïr à l'échelle 1/500 000. Direction Nationale des Mines et de la Géologie, Niamey.

CARTER J.D., 1964. Geological map of Nigeria, échelle à 1/2 000 000. Geological Survey of Nigeria, Lagos.

FRANCONI A., 1985. Carte des gîtes minéraux du Niger à 1/1 000 000 et notice. Direction des Recherches Géologique et Minière, Niamey, 42p.

GENIK G.J., 1992. Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and Central African Republic. Tectonophysics 213: 169-185.

GREIGERT J., POUGET R., 1967. Essai de description des formations géologiques de la République du Niger. Paris, BRGM, 273 p.

GREIGERT J., POUGET R. (dir.), 1967. Carte géologique de la République du Niger à l'échelle de 1/2 000 000 et notice explicative. Paris, BRGM, 63 p.

KUSNIR I., 1993. Géologie, ressources minérales et ressources en eau du Tchad. Travaux et documents scientifiques du Tchad, N'Djamena, CNAR, 100 p.

LIEGEOIS J.P., BLACK R., NAVEZ J. and LATOUCHE L., 1994. Early and late Pan-african orogenies in the Aïr assembly of terranes (Touareg shield, Niger). Precambrian Res. v. 67 (in press).

MESTRAUD J.L., 1964. Carte géologique de la République Centrafricaine au 1/500 000. Paris, BRGM.

PETERS S.W., 1981. Stratigraphy of Chad and Lullemeden basins (West Africa). Eclogae Geol. Helv. 74:139-159.

PICARD F., 1965. Carte géologique du Manga au 1/500 000 et notice explicative. Paris, BRGM.

SCHNEIDER J.L., WOLF J.P., 1992. Carte géologique et cartes hydrogéologiques à 1:5 000 000 de la République du Tchad. Mémoire explicative. Orléans (France) Documents du BRGM n° 209.

SOUGY G. (Comm. red.), 1987. Carte géologique internationale de l'Afrique à 1 /5000 000. CCGM et UNESCO.

TOTOU S.F., 1987. Chronologie des grands ensembles structuraux de la région de Poli. Accrétion crustale dans la chaîne panafricaine du nord du cameroun. Thèse Univ. Nancy I (France).